

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-138272

(P2001-138272A)

(43)公開日 平成13年5月22日(2001.5.22)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テ-マ-ト*(参考)

B 2 5 J 5/00

B 2 5 J 5/00

F

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 22 頁)

(21)出願番号 特願平11-323134

(22)出願日 平成11年11月12日(1999.11.12)

(71)出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(71)出願人 599133381

山口 仁一

東京都日野市多摩平5-14-38

(72)発明者 黒木 義博

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(74)代理人 100101801

弁理士 山田 英治 (外2名)

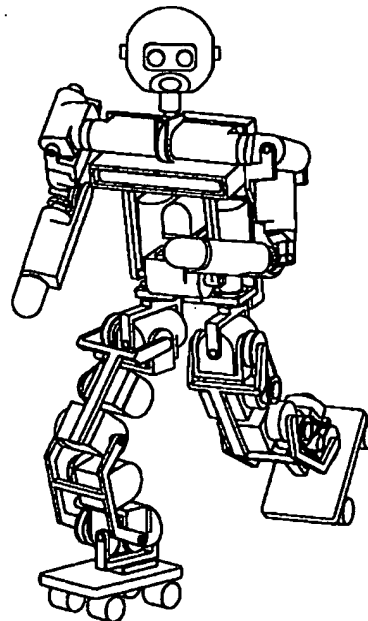
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 脚式移動ロボット及びその動作制御方法

(57)【要約】

【課題】 ローラー・スケート靴を履くことにより、脚式移動ロボットは通常の歩行動作時よりもダイナミックで高速な移動作業を実現する。

【解決手段】 ロボットは、2以上の可動脚からなる下肢と、上体とで構成され、下肢及び上体を用いた全身運動を動作制御することにより、各種の動作パターンを実現する。それぞれの可動脚の略最下端には、所定の滑走方向を持つ滑走ユニットが着脱自在に取り付けられており、滑走ユニットを滑走方向に略一致させることによって移動速度を維持するとともに、滑走ユニットを滑走方向と異ならせることによって移動速度を制動することができる。



最定中の人間型ロボット100(前面)

【特許請求の範囲】

【請求項1】2以上の可動脚からなる下肢と、該下肢の上方に配設された上体とで構成され、下肢の運動により各種の動作パターンを実現する脚式移動ロボットであって、

前記可動脚の略最下端に配設された、所定の滑走方向を持つ滑走ユニットと、

前記下肢及び上体を用いた全身運動を動作制御する制御手段とを具備し、

前記制御手段は、前記滑走ユニットの滑走方向と前記移動ロボットの進行方向を調整することによって滑走動作に伴う移動速度を制動することを特徴とする脚式移動ロボット。

【請求項2】前記滑走ユニットは前記可動脚に対して着脱自在に取り付けられていることを特徴とする請求項1に記載の脚式移動ロボット。

【請求項3】前記制御手段は、各可動脚の滑走ユニットの滑走方向を前記脚式移動ロボットの進行方向に揃えることで、滑走中の移動速度を持続するように制御することを特徴とする請求項1に記載の脚式移動ロボット。

【請求項4】前記制御手段は、少なくとも1つの可動脚の滑走ユニットの滑走方向を前記脚式移動ロボットの進行方向に交叉するように設定するとともに、該可動脚を後方に蹴り出すことによって加速動作を実現することを特徴とする請求項1に記載の脚式移動ロボット。

【請求項5】前記制御手段は、少なくとも1つの可動脚の滑走ユニットの滑走方向を前記脚式移動ロボットの進行方向に交叉するように設定するとともに該可動脚を着床することによって制動作用を導出することを特徴とする請求項1に記載の脚式移動ロボット。

【請求項6】前記制御手段は、前記滑走ユニットを用いた滑走動作期間中に、ZMP軌跡制御により前記脚式移動ロボットの姿勢安定制御を行うことを特徴とする請求項1に記載の脚式移動ロボット。

【請求項7】さらに、前記上体の傾斜及び／又は姿勢を検出する姿勢検出手段と、前記可動脚の着床及び離床を検出する接地確認手段と、滑走動作による移動速度を検出する移動速度検出手段とを備え、

前記制御手段は、前記姿勢検出手段、接地確認手段、及び移動速度検出手段の少なくとも1つの出力に基づいて、ZMP軌跡制御により前記脚式移動ロボットの姿勢安定制御を行うことを特徴とする請求項1に記載の脚式移動ロボット。

【請求項8】2以上の可動脚からなる下肢と、該下肢の上方に配設された上体とで構成され、下肢の運動により各種の動作パターンを実現する脚式移動ロボットの動作制御方法であって、前記可動脚の略最下端には所定の滑走方向を持つ滑走ユニット配設されており、前記滑走ユニットを前記滑走方向に略一致させることによって移動速度を維持するステップと、

前記滑走ユニットの滑走方向を前記脚式移動ロボットの進行方向のなす角度を調整することによって滑走動作に伴う移動速度を制動するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項9】前記滑走ユニットは前記可動脚に対して着脱自在に取り付けられていることを特徴とする請求項8に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項10】さらに、各可動脚の滑走ユニットの滑走方向を進行方向に揃えることで、滑走中の移動速度を持続するように制御するステップを備えることを特徴とする請求項8に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項11】さらに、少なくとも1つの可動脚の滑走ユニットの滑走方向を前記脚式移動ロボットの進行方向に交叉するように設定するとともに該可動脚を後方に蹴り出すことによって加速動作を実現するステップを備えることを特徴とする請求項8に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項12】さらに、少なくとも1つの可動脚の滑走ユニットについて滑走方向を前記脚式移動ロボットの進行方向に交叉するように設定するとともに該可動脚を着床することによって制動作用を導出するステップを備えることを特徴とする請求項8に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項13】さらに、ZMP軌跡制御により前記脚式移動ロボットの姿勢安定制御を行うステップを備えることを特徴とする請求項8に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項14】前記脚式移動ロボットは、前記上体の傾斜及び／又は姿勢を検出する姿勢検出手段と、前記可動脚の着床及び離床を検出する接地確認手段と、滑走動作による移動速度を検出する移動速度検出手段とをさらに備え、

さらに、前記姿勢検出手段、接地確認手段、及び移動速度検出手段の少なくとも1つの出力に基づいて、ZMP軌跡制御により前記脚式移動ロボットの姿勢安定制御を行うステップを備えることを特徴とする請求項8に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、生体のメカニズムや動作をモデル化して構成されるリアリスティックなロボットのメカニズムに係り、特に、ヒトやサルなどの脚式移動型動物の身体メカニズムをモデル化した脚式移動型ロボットのメカニズムに関する。

【0002】更に詳しくは、本発明は、それぞれの可動脚が着床及び離床動作を協調的に繰り返し実行することにより柔軟な動作パターンを実現することができる脚式移動型ロボットのメカニズムやその制御方法に係り、特に、各々の可動脚にローラ・スケート靴のような滑走ユニットを装着してダイナミック且つ高速な移動動作を行

う脚式移動型ロボットのメカニズムやその制御方法に関する。

【0003】

【従来の技術】ロボットの語源は、スラブ語のROBOTA（奴隷機械）に由来するといわれている。わが国では、ロボットが普及し始めたのは1960年代末からであるが、その多くは、工場における生産作業の自動化・無人化などを目的としたマニピュレータや搬送ロボットなどの産業用ロボット（industrial robot）であった。

【0004】最近では、ヒトやサルなどの2足直立歩行を行う動物の身体メカニズムや動作を模した脚式移動ロボットに関する研究開発が進展し、実用化への期待も高まってきている。2足直立による脚式移動は、クローラ式や、4足又は6足式などに比し不安定で姿勢制御や歩行制御が難しくなるが、階段の昇降や障害物の乗り越えなど、柔軟な歩行・走行動作を実現できるという点で優れている。

【0005】例えば、特開平3-184782号公報には、脚式歩行ロボットのうち、胴体より下に相当する構造体に適用される関節構造について開示している。

【0006】ヒトの生体メカニズムや動作をエミュレートした脚式移動ロボットのことを、特に、「人間形」、若しくは「人間型」のロボット（humanoid robot）と呼ぶ。人間型ロボットは、例えば、生活支援、すなわち住環境その他の日常生活上の様々な場面における人的活動の支援などを行うことができる。

【0007】人間形若しくは人間型と呼ばれるロボットを研究・開発する意義を、例えば以下の2つの視点から把握することができよう。

【0008】1つは、人間科学的な視点である。すなわち、人間の下肢及び／又は上肢に似た構造のロボットを作り、その制御方法を考案して、人間の歩行動作をシミュレートするというプロセスを通じて、歩行を始めとする人間の自然な動作のメカニズムを工学的に解明することができる。このような研究成果は、人間工学、リハビリテーション工学、あるいはスポーツ科学など、人間の運動メカニズムを扱う他のさまざまな研究分野の進展に大いに還元することができるであろう。

【0009】もう1つは、人間のパートナーとして生活を支援する、すなわち住環境その他の日常生活上の様々な場面における人的活動の支援を行うロボットの開発である。この種のロボットは、人間の生活環境のさまざまな局面において、人間から教わりながら個々に個性の相違する人間又は環境への適応方法を学習し、機能面でさらに成長していく必要がある。このとき、ロボットが「人間形」すなわち人間と同じ形又は同じ構造をしている方が、人間とロボットとのスムーズなコミュニケーションを行う上で有効に機能するものと考えられる。

【0010】例えば、踏んではならない障害物を避けな

がら部屋を通り抜ける方法を実地においてロボットに教示するような場合、クローラ式や4足式ロボットのように教える相手が自分と全く違う構造をしているよりも、同じような格好をしている2足歩行ロボットの方がユーザ（作業員）はるかに教え易く、またロボットにとっても教わり易い筈であろう（例えば、高西著「2足歩行ロボットのコントロール」（自動車技術会関東支部＜高塑＞No. 25, 1996 APRIL）を参照のこと）。そもそも、人間の住環境のほとんどは人間が持つ形態や行動様式に合わせて形成されたものであるから、ロボットが人間型の形態を有していることは人間の住環境との親和性を高める上で必須であるとも言える。

【0011】人間型ロボットの用途の1つとして、産業活動・生産活動等における各種の難作業の代行が挙げられる。例えば、原子力発電プラントや火力発電プラント、石油化学プラントにおけるメンテナンス作業、製造工場における部品の搬送・組立作業、高層ビルにおける清掃、火災現場その他における救助といったような危険作業・難作業の代行などである。但し、この種の産業利用に特化したロボットは、特定の用途若しくは機能を実現することが設計・製作上の至上の主題であり、2足歩行を前提とはするものの、ヒトやサルなど直立歩行動物が本来持つ身体メカニズムや動作を機械装置として忠実に再現する必要は必ずしもない。例えば、特定用途を実現するために手先の自由度や動作機能を強化する一方で、用途には比較的關係が低いとされる頭部や体幹部（脊椎など）、腰部などの自由度を制限し又を省略することはある程度許容すべきである。この結果、2足歩行と謂えども、ロボットの作業や動作の外観上で、ヒトとしては不自然さが残ることがあるが、かかる点は妥協せざるを得ない。

【0012】また、人間型ロボットの他の用途として、難作業の代行などの生活支援というよりも、生活密着型、すなわち人間との「共生」という用途が挙げられる。この種のロボットは、ヒトやサルなどの2足の直立歩行を行う動物が本来持つ、全身協調型の動作メカニズムを忠実に再現し、その自然に円滑な動作を実現することを至上の目的とする。また、ヒトやサルなどの知性の高い直立動物をエミュレートする以上、四肢を用いた動作の表現力が豊かであることが望ましい。さらに、予め入力された動作パターンを単に忠実に実行するだけではなく、相手の言葉や態度（「褒める」とか「叱る」、「叩く」など）に呼応した、生き生きとした動作表現を実現することも要求される。この意味において、ヒトを模したエンターテインメント・ロボットは、まさに「人間型ロボット」と呼ぶに相応しい。

【0013】既に周知のように、人体は数百の関節すなわち数百に上る自由度を備えている。限りなくヒトに近い動作を脚式移動ロボットに付与するためには、ほぼ同じ自由度を与えることが好ましいが、これは技術的には

極めて困難である。何故ならば、1つの自由度に対して少なくとも各1つのアクチュエータを配設する必要があるが、数百のアクチュエータをロボットという機械装置上に実装することは、製造コストの点からも、重量やサイズなど設計の観点からも不可能に等しい。また、自由度が多いと、その分だけロボットの位置・動作パターン制御や姿勢安定制御等のための計算量が指数関数的に増大してしまう。

【0014】このため、人体よりもはるかに少ない数十程度の関節自由度で人間型ロボットを構成するのが一般的である。したがって、少ない自由度を用いてより自然な動作を如何にして実現するかが、人間型ロボットの設計・制御において重要な課題の1つといえる。

【0015】例えば、脊椎などのように柔軟性を持つ機構が人間の生活の場で多様で複雑な動作をするために重要であることは、人間工学などの観点から既に明らかである。脊椎を意味する体幹関節自由度は、産業的な用途上は存在価値が低い、エンターテインメントやその他の生活密着型の人間型ロボットには重要である。なお且つ、状況に応じて柔軟さを能動的に調節できることが求められている。

【0016】また、2足直立歩行を行う脚式移動ロボットは、柔軟な歩行・走行動作（例えば階段の昇降や障害物の乗り越え等）を実現できる点で優れている反面、重心位置が高くなるため、その分だけ姿勢制御や安定歩行制御が難しくなる。特に、生活密着型のロボットの場、ヒトやサルなどの知性動物における自然な動作や感情を豊かに表現しながら姿勢や安定歩行を制御しなければならない。

【0017】2足歩行による脚式移動を行うタイプのロボットに関する姿勢制御や安定歩行に関する技術は既に数多提案されている。ここで言う安定な「歩行」を、「転倒することなく、脚を使って移動すること」と定義することができよう。

【0018】歩行時には、重力と歩行運動に伴って生じる加速度によって、歩行系から路面には重力と慣性力、並びにこれらのモーメントが作用する。いわゆる「ダランベールの原理」によると、それらは路面から歩行系への反作用としての床反力、床反力モーメントとバランスする。力学的推論の帰結として、足底接地点と路面の形成する支持多角形の辺上あるいはその内側にピッチ及びロール軸モーメントがゼロとなる点、すなわち「ZMP (Zero Moment Point)」が存在する。

【0019】ロボットの安定歩行に関する提案の多くは、このZMPを歩行の安定度判別の規範として用いている。ZMP規範に基づく2足歩行パターン生成は、足底着地点を予め設定でき、路面形状に応じた足先の運動学的拘束条件を考慮し易いなどの利点がある。

【0020】例えば、特開平5-305579号公報に

は、脚式移動ロボットの歩行制御装置について開示している。同公報に記載の歩行制御装置は、ZMP (Zero Moment Point) すなわち歩行するときの床反力によるモーメントがゼロとなる床面上の点を目標値に一致させるように制御するものである。

【0021】また、特開平5-305581号公報に記載の脚式移動ロボットは、ZMPが支持多面体（多角形）内部、又は、着地、離床時にZMPが支持多面体（多角形）の端部から少なくとも所定の余裕を有する位置にあるように構成した。この結果、外乱などを受けても所定距離だけZMPの余裕があり、歩行の安定性の向上を図ることができる。

【0022】また、特開平5-305583号公報には、脚式移動ロボットの歩き速度をZMP目標位置によって制御する点について開示している。すなわち、同公報に記載の脚式移動ロボットは、予め設定された歩行パターン・データを用い、ZMPを目標位置に一致させるように脚部関節を駆動するとともに、上体の傾斜を検出して、その検出値に応じて設定された歩行パターン・データの吐き出し速度を変更するようにしている。この結果、予期しない凹凸を踏んでロボットが例えば前傾するときは吐き出し速度を速めることで姿勢を回復できる。またZMPが目標位置に制御できるので、両脚支持期において吐き出し速度を変更しても支障がない。

【0023】また、特開平5-305585号公報には、脚式移動ロボットの着地位置をZMP目標位置によって制御する点について開示している。すなわち、同公報に記載の脚式移動ロボットは、ZMP目標位置と実測位置とのずれを検出して、それを解消する様に脚部の一方または双方を駆動するか、又は、ZMP目標位置まわりにモーメントを検出してそれが零になる様に脚部を駆動することで安定歩行を行うようになっている。

【0024】また、特開平5-305586号公報には、脚式移動ロボットの傾斜姿勢をZMP目標位置によって制御する点について開示している。すなわち、同公報に記載の脚式移動ロボットは、ZMP目標位置まわりのモーメントを検出し、モーメントが生じているときは、それが零になるように脚部を駆動することで安定歩行を行うようになっている。

【0025】

【発明が解決しようとする課題】上述したように脚式移動型ロボットの歩行動作に関しては、ZMPを安定度判別度規範に用いた数多の研究・開発が既になされてきている。

【0026】しかしながら、歩行動作は脚式移動ロボットの基本動作パターンとして重要ではあるが、動作パターンの全てではない。そもそも脚式移動は、柔軟な歩行・走行動作が可能であることが優れた特徴であり、階段の昇降や障害物の乗り越えを行う他、ジャンプ動作、高所からの飛び降り動作も脚式移動ロボットはサポートす

べきである。

【0027】また、エンターテインメント向けの人間型ロボットの場合には、歩行・走行、ジャンプなど、人間の日常生活上の基本的な動作パターンの他に、さらにゲームやスポーツなど、各種の競技種目に関連する全身運動を行うことが期待されている。

【0028】例えば、脚式移動ロボットにローラ・スケート靴を履かせることにより、床面上を滑動させてもよいであろう。ロボットのローラ・スケATINGへの適用は、単に娯楽性を発揮するだけにとどまらず、通常の歩行動作よりもダイナミックで速い移動作業を、他の機構を変更することなく実現できるという利点もある。例えば、荷物の搬送時などにローラ・スケート靴を履いたロボットを適用することもできるであろう。

【0029】従来の脚式移動ロボットでは、その自由度構造などの問題から移動速度が比較的遅く（等身大の脚式移動ロボットでは、最大移動速度は2.0Km/h程度）、ダイナミックで高速な移動が困難であった。

【0030】スケATINGの動作制御を行うことにより移動する脚式移動ロボットの従来例としては、4足歩行ロボット“TITAN”（Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics & Automation Detroit, Michigan・May 1999）が挙げられる。しかしながら、TITANは、4足ロボットであり2足による直立歩行を想定したものではなく、また、ヒトのような生命体のメカニズムを真似ることを必ずしも目的とはしていない。また、TITANは上肢を含んだ構成のロボットに関するスケATING動作制御について提案するものではない。

【0031】本発明の目的は、それぞれの可動脚が着床及び離床動作を協調的に繰り返し実行することにより柔軟な動作パターンを実現することができる、優れた脚式移動型ロボットのメカニズム及びその制御方法を提供することにある。

【0032】本発明の更なる目的は、ローラ・スケート靴を履くことにより、通常の歩行よりもダイナミックで高速な移動作業を実現することができる、優れた脚式移動型ロボットのメカニズム及びその制御方法を提供することにある。

【0033】

【課題を解決するための手段及び作用】本発明は、上記課題を参酌してなされたものであり、その第1の側面は、2以上の可動脚からなる下肢と、該下肢の上方に配設された上体とで構成され、下肢の運動により各種の動作パターンを実現する脚式移動ロボットであって、前記可動脚の略最下端に配設された、所定の滑走方向を持つ滑走ユニットと、前記下肢及び上体を用いた全身運動を動作制御する制御手段とを具備し、前記制御手段は、前

記滑走ユニットの滑走方向と前記移動ロボットの進行方向のなす角度を調整することによって滑走動作に伴う移動速度を制動することを特徴とする脚式移動ロボットである。

【0034】ここで言う滑走ユニットとは、たとえば、足底の裏面に複数の回転ローラを装備した「ローラ・スケATING・ユニット」であり、ローラの回転方向によって規定される滑走方向を備えている。

【0035】滑走ユニットは、例えば可動脚に対して着脱自在に取り付けられている。したがって、滑走ユニットを取り外すだけで、脚式移動ロボットは、歩行や走行などの通常の脚式移動動作パターンを実行することができる。

【0036】滑走ユニットは、滑走方向に沿った進行方向にはほとんど摩擦などの負荷がかからない。このため、各可動脚の滑走ユニットを進行方向に揃えることで、滑走中の移動速度を持続することができる。他方、滑走方向に一致しない（例えば滑走方向と直交する）進行方向では、摩擦が印加される。このため、滑走開始時や移動速度が減速したときには、1つの可動脚において、滑走ユニットの滑走方向を脚式移動ロボットの進行方向に交叉するように設定するとともに、該可動脚を後方に蹴り出すことによって加速動作を実現することができる。また、滑走期間中においては、滑走ユニットを滑走方向に交叉させて該可動脚を着床することによって路面との間で摩擦を発生させることで、制動作用を導出することができる。

【0037】したがって、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、通常の関節自由度のみを以て容易に実現し得る動作パターンのみを用いて滑走動作を行い、この結果、ダイナミックで高速な移動動作を行うことができる。

【0038】脚式移動ロボットが一連の滑走動作を行っている期間中、制御手段は、ZMP軌跡制御により姿勢安定制御を行うことで、滑走中のロボットの転倒を防止することができる。

【0039】また、脚式移動ロボットは、さらに、前記上体の傾斜及び又は姿勢を検出する姿勢検出手段と、前記可動脚の着床及び離床を検出する接地確認手段と、滑走動作による移動速度を検出する移動速度検出手段とを備えていてもよい。また、制御手段は、これら姿勢検出手段、接地確認手段、及び移動速度検出手段が検出若しくは算出した結果に基づいて、脚式移動ロボットをZMP軌跡制御による姿勢安定制御を行うことができる。

【0040】また、本発明の第2の側面は、2以上の可動脚からなる下肢と、該下肢の上方に配設された上体とで構成され、下肢の運動により各種の動作パターンを実現する脚式移動ロボットの動作制御方法であって、前記可動脚の略最下端には所定の滑走方向を持つ滑走ユニット配設されており、前記滑走ユニットを前記滑走方向に

略一致させることによって移動速度を維持するステップと、前記滑走ユニットの滑走方向を前記脚式移動ロボットの進行方向のなす角度を調整することによって滑走動作に伴う移動速度を制動するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法である。

【0041】前記滑走ユニットは前記可動脚に対して着脱自在に取り付けられていてもよい。

【0042】また、該動作制御方法は、さらに、各可動脚の滑走ユニットの滑走方向を進行方向に揃えることで、滑走中の移動速度を持続するように制御するステップを備えていてもよい。

【0043】また、該動作制御方法は、さらに、少なくとも1つの可動脚の滑走ユニットの滑走方向を前記脚式移動ロボットの進行方向に交叉するように設定するとともに該可動脚を後方に蹴り出すことによって加速動作を実現するステップを備えていてもよい。

【0044】また、該動作制御方法は、さらに、少なくとも1つの可動脚の滑走ユニットの滑走方向を前記脚式移動ロボットの進行方向に交叉するように設定するとともに該可動脚を着床することによって制動作用を導出するステップを備えていてもよい。

【0045】また、該動作制御方法は、さらに、ZMP軌跡制御により前記脚式移動ロボットの姿勢安定制御を行うステップを備えていてもよい。

【0046】また、前記脚式移動ロボットは、前記上体の傾斜及び／又は姿勢を検出する姿勢検出手段と、前記可動脚の着床及び離床を検出する接地確認手段と、滑走動作による移動速度を検出する移動速度検出手段とをさらに備え、該動作制御方法は、さらに、前記姿勢検出手段、接地確認手段、及び移動速度検出手段の少なくとも1つの出力に基づいて、ZMP軌跡制御により前記脚式移動ロボットの姿勢安定制御を行うステップを備えていてもよい。

【0047】本発明のさらに他の目的、特徴や利点は、後述する本発明の実施例や添付する図面に基づくより詳細な説明によって明らかになるであろう。

【0048】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施例を詳解する。

【0049】図1及び図2には本発明の実施に供される人間形又は人間型ロボット100を前方及び後方の各々から眺望した様子を示している。

【0050】本実施例に係る人間型ロボット100は、両足平にローラ・スケーティング・ユニット200を着脱自在に取り付けることができる。図3及び4には、人間型ロボット100の足平にローラ・スケーティング・ユニット200を装着する様子を示している。ローラ・スケーティング・ユニット200は、足底の裏面に1以上のローラが回転自在に取り付けられ、滑走動作を

現するための機構ユニットである。

【0051】図3に示すように、人間型ロボット100の脚部ユニットの先端（例えば足首関節部の下端）には、断面が逆T字形のスライダ201が配設されている。他方、ローラ・スケーティング・ユニット200の足平上面には、スライダ201を挿入するガイド・レール202が形成されている。

【0052】ガイド・レール202の挿入口近傍には、突起状のストッパ203が足平の上面から出沒自在に配設されている。図3に示すように、ストッパ203が埋没した状態では、ガイド・レール203の挿入口が完全に開放され、ローラ・スケーティング・ユニット200をその他の足平ユニットと取り外し交換することが可能となる。他方、図4に示すように、ガイド・レール202がスライダ201を完全に受容した状態でストッパ203を最大限に突出させることにより、ローラ・スケーティング・ユニット200を脚部ユニットの先端に固定することができる。

【0053】図5には、ローラ・スケーティング・ユニット200に取り付けられた検出機構について図解している。ローラ・スケートのような滑走動作を好適に制御するためには、制御用の入力値として足平が床面に接地しているか否かの接地確認と、滑走中の移動速度を検出する必要がある。

【0054】前者の接地確認に関しては、マイクロ・スイッチ211Aとドグ211Bを用いて検出することができる。すなわち、接地により足平にロボット100の自重が印加され、足平が沈む（すなわち、ドグ211Bが突き上がる）ことによって、マイクロ・スイッチ211Bが作動して、接地の有無を検出することができる。

【0055】また、移動速度に関しては、ローラの端面に付設されたエンコーダ（回転検出計）213の出力を基に算出することができる。すなわち、エンコードされた回転数とローラの円周の積により移動量が分かり、移動量を経過時間で除算することにより移動速度が算出される。

【0056】図6及び図7には、両足にローラ・スケーティング・ユニット200を取り付けた人間型ロボット100が路面を滑走する動作を前方及び後方の各々から眺望した様子を示している。

【0057】図6及び図7を見ても分かるように、スケーティングのために必要な全身運動のパターンは、脚式移動ロボット100の自由度構造上からも許容された動作範囲内である。言い換えれば、ローラ・スケーティング・ユニット200をロボット100の各々の可動脚に適用することによって、標準的に備えた関節自由度のみを以て容易に実現し得る動作パターンを用いて、ロボット100はダイナミックで高速な滑走すなわち移動動作を行うことができる訳である。（但し、人間型ロボット100が滑走動作を行うための全身運動パターンの算

出処理等については後述で詳解する。)

【0058】さらに、図8には、この人間型ロボット100が具備する関節自由度構成を模式的に示している。図示の通り、人間型ロボット100は、2本の腕部と頭部1を含む上部と、移動動作を実現する2本の脚部からなる下肢と、上肢と下肢とを連結する体幹部とで構成される。

【0059】頭部1を支持する首関節は、首関節ヨー軸2と、首関節ピッチ軸3と、首関節ロール軸4という3自由度を有している。

【0060】また、各腕部は、肩関節ピッチ軸8と、肩関節ロール軸9と、上腕ヨー軸10と、肘関節ピッチ軸11と、前腕ヨー軸12と、手首関節ピッチ軸13と、手首関節ロール軸14と、手部15とで構成される。手部15は、実際には、複数本の指を含む多関節・多自由度構造体である。但し、手部15の動作自体は、ロボット100の姿勢安定制御や歩行動作制御に対する寄与や影響が少ないので、本明細書ではゼロ自由度と仮定する。したがって、左右の各腕部は7自由度を有するとする。

【0061】また、体幹部は、体幹ピッチ軸5と、体幹ロール軸6と、体幹ヨー軸7という3自由度を有する。

【0062】また、下肢を構成する左右各々の脚部は、股関節ヨー軸16と、股関節ピッチ軸17と、股関節ロール軸18と、膝関節ピッチ軸19と、足首関節ピッチ軸20と、関節ロール軸21と、足部(足底)22とで構成される。股関節ピッチ軸17と股関節ロール軸18の交点は、本実施例に係るロボット100の股関節位置を定義するものとする。人体の足部(足底)22は、実際には多関節・多自由度の足底を含んだ構造体であるが、本実施例に係る人間型ロボット100の足底はゼロ自由度とする。したがって、左右の各脚部は6自由度で構成される。

【0063】以上を総括すれば、本実施例に係る人間型ロボット100全体としては、合計で $3+7\times 2+3+6\times 2=32$ 自由度を有することになる。但し、エンターテインメント向けの人間型ロボット100が必ずしも32自由度に限定される訳ではない。設計・製作上の制約条件や要求仕様等に応じて、自由度すなわち関節数を適宜増減することができることは言うまでもない。

【0064】上述したような人間型ロボット100が持つ各自由度は、実際にはアクチュエータを用いて実装される。外観上で余分な膨らみを排してヒトの自然体形状に近似させること、2足歩行という不安定構造体に対して姿勢制御を行うことなどの要請から、アクチュエータは小型且つ軽量であることが好ましい。本実施例では、ギア直結型で且つサーボ制御系をワンチップ化してモータ・ユニットに内蔵したタイプの小型ACサーボ・アクチュエータを搭載することとした。なお、この種のACサーボ・アクチュエータに関しては、例えば本出願人に

既に譲渡されている特願平11-33386号明細書に開示されている。

【0065】図9には、人間型ロボット100の制御システム構成を模式的に示している。同図に示すように、人間型ロボット100は、ヒトの四肢を表現した各機構ユニット30、40、50R/L、60R/Lと、各機構ユニット間の協調動作を実現するための適応制御を行う制御ユニット80とで構成される(但し、R及びLの各々は、右及び左の各々を示す接尾辞である。以下同様)。

【0066】人間型ロボット100全体の動作は、制御ユニット80によって統括的に制御される。制御ユニット80は、CPU(Central Processing Unit)チップやメモリ・チップ等の主要回路コンポーネント(図示しない)で構成される主制御部81と、電源装置やロボット100の各構成要素とのデータやコマンドの授受を行うインターフェース(いずれも図示しない)などを含んだ周辺回路82とで構成される。

【0067】本実施例では、電源装置は、ロボット100を自立的に駆動するためのバッテリーを含んだ構成(図9には図示しない)となっている。自立駆動型であれば、人間型ロボット100の物理的な行動半径は、電源ケーブルによる制限を受けず、自由に歩行することができる。また、歩行やその他の上肢を含めた各種の運動時に、電源ケーブルとの干渉を考慮する必要がなくなり、広範囲野移動作業を含む動作の制御が容易になる。

【0068】図8に示したロボット100内の各関節自由度は、それぞれに対応するアクチュエータによって実現される。すなわち、頭部ユニット30には、首関節ヨー軸2、首関節ピッチ軸3、首関節ロール軸4の各々を表現する首関節ヨー軸アクチュエータ A_2 、首関節ピッチ軸アクチュエータ A_3 、首関節ロール軸アクチュエータ A_4 がそれぞれ配設されている。

【0069】また、体幹部ユニット40には、体幹ピッチ軸5、体幹ロール軸6、体幹ヨー軸7の各々を表現する体幹ピッチ軸アクチュエータ A_5 、体幹ロール軸アクチュエータ A_6 、体幹ヨー軸アクチュエータ A_7 がそれぞれ配備されている。

【0070】また、腕部ユニット50R/Lは、上腕ユニット51R/Lと、肘関節ユニット52R/Lと、前腕ユニット53R/Lに細分化されるが、肩関節ピッチ軸8、肩関節ロール軸9、上腕ヨー軸10、肘関節ピッチ軸11、肘関節ロール軸12、手首関節ピッチ軸13、手首関節ロール軸14の各々を表現する肩関節ピッチ軸アクチュエータ A_8 、肩関節ロール軸アクチュエータ A_9 、上腕ヨー軸アクチュエータ A_{10} 、肘関節ピッチ軸アクチュエータ A_{11} 、肘関節ロール軸アクチュエータ A_{12} 、手首関節ピッチ軸アクチュエータ A_{13} 、手首関節ロール軸アクチュエータ A_{14} がそれぞれ配備されている。

【0071】また、脚部ユニット60R/Lは、大腿部ユニット61R/Lと、膝ユニット62R/Lと、脛部ユニット63R/Lに細分化されるが、股関節ヨー軸16、股関節ピッチ軸17、股関節ロール軸18、膝関節ピッチ軸19、足首関節ピッチ軸20、足首関節ロール軸21の各々を表現する股関節ヨー軸アクチュエータ A_{16} 、股関節ピッチ軸アクチュエータ A_{17} 、股関節ロール軸アクチュエータ A_{18} 、膝関節ピッチ軸アクチュエータ A_{19} 、足首関節ピッチ軸アクチュエータ A_{20} 、足首関節ロール軸アクチュエータ A_{21} がそれぞれ配備されている。

【0072】各アクチュエータ A_2, A_3, \dots は、より好ましくは、ギア直結型で且つサーボ制御系をワンチップ化してモータ・ユニット内に搭載したタイプの小型ACサーボ・アクチュエータ（前述）である。

【0073】頭部ユニット30、体幹部ユニット40、腕部ユニット50、各脚部ユニット60などの各機構ユニット毎に、アクチュエータ駆動制御用の副制御部35、45、55、65がそれぞれ配備されている。さらに、各脚部60R、Lの足底が着床したか否かを検出する接地確認センサ91及び92、及び移動速度を検出する移動速度センサ94及び95を装着するとともに、体幹部ユニット40内には、姿勢を計測する姿勢センサ93を装備している。

【0074】本実施例では、姿勢センサ93として加速度センサを用いるものとする。また、接地確認センサ91、92の各々は、図5を参照しながら説明したように、マイクロ・スイッチ211A及びドグ211Bの組み合わせで構成される。また、移動速度センサ94、95の各々は、スケーティング・ユニット200のローラ端面に付設されたエンコーダ213（回転検出計）によって構成される。接地確認センサ91、92の出力により、足底22の着床及び離床期間、ひいては脚部ユニットが滑走脚又は遊脚のいずれであるかを判別することができる。また、滑走脚となっている脚部ユニットのエンコーダ出力を採用することで、ロボット100の滑走速度を算出することができる。また、姿勢センサの出力により、体幹部分の傾きや姿勢を検出することができる。

【0075】主制御部80は、各センサ91～93の出力に応答して制御目標をダイナミックに補正することができる。より具体的には、副制御部35、45、55、65の各々に対して適応的な制御を行い、人間型ロボット100の上肢、体幹、及び下肢の協調した動作を実現することができる。主制御部81は、ユーザ・コマンド等に従って、足部運動、ZMP（Zero Moment Point）軌道、体幹運動、上肢運動、腰部高さなどを設定するとともに、これらの設定内容に従った動作を指示するコマンドを各副制御部35、45、55、65に転送する。

【0076】そして、各々の副制御部35、45…で

は、主制御部81からの受信コマンドを解釈して、各関節アクチュエータ A_2, A_3, \dots に対して駆動制御信号を出力する。ここで言う「ZMP」とは、歩行中の床反力によるモーメントがゼロとなる床面上の点のことであり、また、「ZMP軌道」とは、例えばロボット100の歩行動作期間中などにZMPが動く軌跡を意味する。

【0077】次いで、ロボット100に対してローラ・スケート靴を「履かせる」ことにより、歩行よりも高速な移動を実現するための制御手順について説明する。

【0078】本実施例では、物理的には図8に示す多関節自由度構成を具備する人間型ロボット100を、さらに多質点近似モデルに置き換えて全身運動パターン算出の演算処理を行うようになっている。現実の人間型ロボット100は、無限のすなわち連続的な質点の集合体であるが、有限数で離散的な質点からなる近似モデルに置き換えることによって、その計算量を削減することが主な目的である。

【0079】図10には、本実施例に係る全身運動パターンの計算のために導入される、人間型ロボット100の線形且つ非干渉の多質点近似モデルを図解している。

【0080】図10において、O-XYZ座標系は絶対座標系におけるロール、ピッチ、ヨー各軸を表し、また、O'-X'Y'Z'座標系はロボット100とともに動く運動座標系におけるロール、ピッチ、ヨー各軸を表している。同図に示す多質点モデルでは、 i は i 番目に与えられた質点を表す添え字であり、 m_i は i 番目の質点の質量、 r'_i は i 番目の質点の位置ベクトル（但し運動座標系）を表すものとする。また、後述する腰部運動制御において特に重要な腰部質点の質量は m_h 、その位置ベクトルは r'_h （ $r'_{hx}, r'_{hy}, r'_{hz}$ ）とし、また、ZMPの位置ベクトルを r'_{zmp} とする。

【0081】図10に示す非厳密の多質点近似モデルにおいては、モーメント式は線形方程式の形式で記述され、該モーメント式はピッチ軸及びロール軸に関して干渉しない、という点を充分理解されたい。

【0082】このような多質点近似モデルは、概ね以下の処理手順により生成することができる。

【0083】（1）ロボット100全体の質量分布を求める。

（2）質点を設定する。質点の設定方法は、設計者のマニュアル入力であっても、所定の規則に従った自動生成のいずれでも構わない。

（3）各領域 i 毎に、重心を求め、その重心位置と質量 m_i を該当する質点に付与する。

（4）各質点 m_i を、質点位置 r_i を中心とし、その質量に比例した半径に持つ球体として表示する。

（5）現実に連結関係のある質点すなわち球体同士を連結する。

【0084】多質点近似モデルは、言わば、ワイヤフレーム・モデルの形態でロボット100を表現したもので

ある。本実施例では、図10を見ても判るように、この多質点近似モデルは、両肩、両肘、両手首、体幹、腰部、及び、両足首の各々を質点として設定したものである。

【0085】なお、図10に示す多質点モデルの腰部情報における各回転角 (θ_{hx} , θ_{hy} , θ_{hz}) は、人間型ロボット100における腰部の姿勢すなわちロール、ピッチ、ヨー軸の回転を規定するものである(図11には、ロボット100の多質点近似モデルにおける腰部周辺の拡大図を示しているの、確認されたい)。

【0086】次いで、本実施例に係る人間型ロボット100が滑走動作を行うための全身運動パターンの算出処理手順について説明する。

【0087】ロボットは、通常、動作する前に予め生成された運動パターンに従って各関節すなわちアクチュエータを駆動制御することによって、所定の動作を実現するようになっている。本実施例に係るロボット100の場合、任意の足部運動パターン、ZMP軌道、体幹運動パターン、上肢運動パターン等に基づいて、安定したスケーティング運動を可能とする腰部運動パターンを生成するようになっている。ここで言うZMP (Zero Moment Point) 軌道とは、脚式移動ロボットにおいて、足底(若しくは足裏)をある一点で床面に固定したとき、歩行やローラ・スケーティングその他の全身運動パターンを実行する期間中において、モーメン

トが発生しないような点のことを言う(前述)。

【0088】本実施例のように1つの可動脚が6自由度を持つ脚式移動ロボット(図8を参照のこと)の場合、各足部22R/Lの位置と腰部の水平位置及び高さによって両脚の姿勢が一意に定まる。したがって、スケーティング動作のための腰部運動パターンを生成することとは、脚の姿勢すなわち下肢の「歩容」を決定することに他ならない。「歩容」(gait)とは、多脚ロボットの動作パターンのうち、特に歩行時における下肢の動作パターン(例えば、足の浮かせ方の順序やそのタイミングなどについてのパターン)のことを意味する技術用語である。多脚ロボットの歩容は、脚の位相差およびデューティ比を用いて表される(日本ロボット学会のロボット学術用語集による)。

【0089】図12には、本実施例に係るロボット100が安定したスケーティング動作を実現するための腰部運動の制御処理手順をフローチャートの形式で示している。但し、以下では、図10に示すような線形・非干渉多質点近似モデルを用いてロボット100の各関節位置や動作を記述するものとし、且つ、計算に際し以下の[数1]に示すようなパラメータを用いることとする。また、ダッシュ() 付きの記号は運動座標系のパラメータ等を記述するものと理解されたい。

【0090】

[数1]

m_h : 腰部質点の質量

$\vec{r}_h(r'_{hx}, r'_{hy}, r'_{hz})$: 腰部質点の位置ベクトル

m_i : i番目の質点の質量

\vec{r}_i : i番目の質点の位置ベクトル

\vec{r}_{zmp} : ZMPの位置ベクトル

$\vec{g}(g_x, g_y, g_z)$: 重力加速度ベクトル

$O'-X'Y'Z'$: 運動座標系(ロボットとともに動く)

$O-XYZ$: 絶対座標系

$H = \vec{r}_{hz} + \vec{r}_{qz}$

【0091】また、ロボット100の腰部高さが一定($r'_{hz} + r_{qz} = \text{const}$)で、且つ、膝部質点がゼロであることを前提とする。

【0092】図12に示した処理手順は、ロボット100の歩行や身振り・手振りなどの動作を指示する旨のユーザ・コマンド等の入力に回答して開始する。本実施例では、ユーザ・コマンドが指示するロボット100の動作は、スケーティング動作を意味する。但し、ユーザの指示は、その他の動作、例えば、直立不動時の上肢と体幹を用いた身振り・手振り、2足による普通歩行時、2足歩行時における上肢と体幹を用いた身振り・手振りなどを含んでいてもよい。

【0093】かかるユーザ・コマンドは、主制御部81

において解釈され、足部(より具体的には足底)運動、足部運動から導出されるZMP軌道、体幹運動、上肢運動、腰部の姿勢や高さなど、各部の駆動・動作を実際に決定するためのパターンが設定される(ステップS11)。より具体的には、まず足部運動パターン、次いでZMP軌道、体幹運動パターン、そして上肢運動パターンを設定する。また、腰部の運動に関しては、Z'方向のみ設定し、X'及びY'の各方向については未知とする。

【0094】次に、線形・非干渉多質点近似モデルを用いて、足部、体幹、そして上肢運動により発生する設定ZMP上でのピッチ軸、ロール軸まわりの各モーメント(M_x , M_y)を算出する(ステップS12)。

【0095】次いで、線形・非干渉多質点近似モデルを用いて、腰部水平面内運動 (r'_{hx} , r'_{hy}) によって発生する設定ZMP上でのモーメントを算出する (ステップS13)。

【0096】次いで、設定ZMP上におけるモーメントに関する釣り合い式を、ロボットとともに動く運動座標系 $O'-X'Y'Z'$ 上で導出する (ステップS1

$$\begin{aligned} +m_h H(\ddot{r}_{hx} + \ddot{r}_{qx} + g_x) - m_h g_z (r'_{hx} - r'_{zmp_x}) &= -M_y(t) \\ -m_h H(\ddot{r}_{hy} + \ddot{r}_{qy} + g_y) + m_h g_z (r'_{hy} - r'_{zmp_y}) &= -M_x(t) \end{aligned} \quad \dots (1)$$

【0098】但し、以下が成立するものとする。

【0099】

$$\ddot{r}_{hz} = 0$$

$$r'_{hz} + r_{qz} = \text{const} \quad (\text{時間に関し一定})$$

【0100】次いで、上記のZMP方程式(1)を解いて、腰部水平面内軌道を算出する (ステップS15)。例えば、オイラー法やルンゲ・クッタ法などの数値的解法 (周知) を用いてZMP方程式(1)を解くことで、未知変数としての腰部の水平絶対位置 (r_{hx} , r_{hy}) の数値解を求めることができる (ステップS16)。ここで求められる数値解は、安定歩行可能な腰部運動パターンの近似解であり、より具体的にはZMPが目標位置に入るような腰部水平絶対位置である。ZMP目標位置は、通常、着床した足底に設定される。

【0101】算出された近似解上では予め設定した体幹・上肢運動が実現できない場合には、体幹・上肢運動パターンの再設定・修正を行う (ステップS17)。この際、膝部の軌道を算出してもよい。

【0102】次いで、上述のようにして得られた全身運動パターンを代入して、厳密モデル (すなわち、剛体、若しくは非常に多くの質点からなるロボット100の精密なモデル) における設定ZMP上のモーメント (eM_x , eM_y) を算出する (ステップS18)。非厳密モデルでは上記の「数3」が成立することを前提としたが、厳密ではかかる前提を要しない (すなわち時間の変化に対して一定である必要はない)。

【0103】厳密モデルにおけるモーメント (eM_x , eM_y) は、腰部運動の発生するモーメント誤差である。続くステップS19では、このモーメント (eM_x , eM_y) が非厳密モデルにおける近似モーメントの許容値 (eM_x , eM_y) 未満か否かを判定する。許容値 e 未満であれば、腰部安定運動パターンの厳密解及び安定したスケーティング動作を実現できる全身運動パターンを得ることができたので (ステップS20)、本ルーチン全体を終了する。

【0104】他方、厳密モデルにおけるモーメント (eM_x , eM_y) が近似モデルにおけるモーメントの許容値

4)。より具体的には、足部、体幹、そして上肢運動により発生するモーメント (M_x , M_y) を既知変数の項として右辺に、腰部質点の水平運動に関する項 (r_{hx} , r_{hy}) を未知変数の項として左辺にまとめ、下式に示すような線形・非干渉なZMP方程式(1)を導出する。

【0097】

【数2】

【数3】

(eM_x , eM_y) 以上であった場合には、厳密モデルにおけるモーメント (eM_x , eM_y) を用いて近似モデルにおける既知発生モーメント (M_x , M_y) を修正して (ステップS21)、再びZMP方程式の導出を行い、許容値 e 未満に収束するまで、腰部運動パターンの近似解の算出と修正を繰り返し実行する。

【0105】図12に示す処理手順によれば、可動脚を交互に用いて滑走するローラ・スケーティング動作を行うために、足部運動の他に、体幹運動や上肢運動の設定に基づいて姿勢を安定させる腰部運動を実現することができる。体幹運動や上肢運動とは、身振りや手振りなどのロボットの上半身を用いた表現動作に相当する。また、各可動脚が6自由度からなる脚式移動ロボット100 (図8を参照のこと) の場合、各足部22R/Lの位置と腰部の水平位置と高さで、脚の姿勢すなわち下肢の「歩容」が一意に定まるので、腰部運動パターンを生成することは下肢の「歩容」を決定することを意味する。

【0106】また、図13には、本実施例に係るロボット100において安定したスケーティング動作を行うための、腰部運動の制御処理手順に関する他の例をフローチャートの形式で示している。但し、該処理手順では、上述と同様に、線形・非干渉多質点近似モデルを用いてロボット100の各関節位置や動作を記述するものとする。

【0107】該処理手順は、ロボット100の歩行や身振り・手振りなどの動作を指示する旨のユーザ・コマンド等の入力にตอบสนองして開始する。本実施例では、ユーザ・コマンドが指示するロボット100の動作は、スケーティング動作を意味する。但し、ユーザの指示は、その他の動作、例えば、直立不動時の上肢と体幹を用いた身振り・手振り、2足による普通歩行時、2足歩行時における上肢と体幹を用いた身振り・手振りなどを含んでいてもよい。

【0108】かかるユーザ・コマンドは、主制御部81において解釈され、足部（より具体的には足底）運動、足部運動から導出されるZMP軌道、体幹運動、上肢運動、腰部の姿勢や高さなど、各部の駆動・動作を実際に決定するためのパターンが設定される（ステップS31）。より具体的には、まず足部運動パターン、次いでZMP軌道、体幹運動パターン、そして上肢運動パターンを設定する。また、腰部の運動に関しては、Z'方向のみ設定し、X'及びY'の各方向については未知とする。

【0109】次に、線形・非干渉多質点近似モデルを用いて、足部、体幹、そして上肢運動により発生する設定ZMP上でのピッチ軸、ロール軸まわりの各モーメント(M_x , M_y)を算出する（ステップS32）。

【0110】次いで、腰部水平面内運動(r'_{hx} , r'_{hy})をフーリエ級数展開する（ステップS33）。当業界において既に周知のように、フーリエ級数展開することにより、時間軸成分を周波数成分に置き換えて演算することができる。すなわち、この場合には腰部の動きを周期的な動きとして捉えることができる。また、FFT（拘束フーリエ変換）を適用することができるので、計算速度を大幅に向上させることができる。

【0111】次いで、設定ZMP上でのピッチ軸、ロール軸まわりの各モーメント(M_x , M_y)についてもフーリエ級数展開する（ステップS34）。

【0112】次いで、腰部水平面内軌道のフーリエ係数を算出し、さらに逆フーリエ級数展開することで（ステップS35）、腰部運動の近似解が求まる（ステップS36）。ここで求められる近似解は、安定歩行可能な腰部運動パターンを規定する腰部の水平絶対位置の近似解(r_{hx} , r_{hy})であり、より具体的にはZMPが目標位置に入るような腰部水平絶対位置である。ZMP目標位置は、通常、着床した足底に設定される。

【0113】算出された近似解上では予め設定した体幹・上肢運動が実現できない場合には、体幹・上肢運動パターンの再設定・修正を行う（ステップS37）。この際、膝部の軌道を算出してもよい。

【0114】次いで、上述のようにして得られた全身運動パターンを代入して、厳密モデル（すなわち、剛体、若しくは非常に多くの質点からなるロボット100の精密なモデル）における設定ZMP上のモーメント(eM_x , eM_y)を算出する（ステップS38）。非厳密モデルでは上記の〔数3〕が成立することを前提としたが、厳密ではかかる前提を要しない（すなわち時間の変化に対して一定である必要はない）。

【0115】厳密モデルにおけるモーメント(eM_x , eM_y)は、腰部運動の発生するモーメント誤差である。続くステップS39では、このモーメント(eM_x , eM_y)が近似モデルにおけるモーメントの許容値(ϵM_x , ϵM_y)未満か否かを判定する。許容値 ϵ 未満

であれば、腰部安定運動パターンの厳密解及び安定スケータリング動作を実現できる全身運動パターンを得ることができたので（ステップS40）、本ルーチン全体を終了する。

【0116】他方、厳密モデルにおけるモーメント(eM_x , eM_y)が近似モデルにおけるモーメントの許容値(ϵM_x , ϵM_y)以上であった場合には、厳密モデルにおけるモーメント(eM_x , eM_y)を用いて非厳密モデルにおける既知発生モーメント(M_x , M_y)を修正して（ステップS41）、再びフーリエ級数展開して、許容値 ϵ 未満に収束するまで、腰部運動パターンの近似解の算出と修正を繰り返し実行する。

【0117】当業者であれば、図13に示す処理手順によっても、図12で示した処理手順と同様、体幹運動や上肢運動の設定に基づいて安定したスケータリング動作が可能な腰部運動を実現することができる、ということを理解できるであろう。特に、ZMP方程式の数値的解法に頼らず、フーリエ級数展開を用いることで、周期運動を高速に求めると同時に、FFT（高速フーリエ変換）を適用することでモーメント計算そのものを高速化することができる。

【0118】体幹運動や上肢運動とは、身振りや手振りなどのロボットの上半身を用いた表現動作に相当する。また、各可動脚が6個の関節自由度の脚式移動ロボット100（図8を参照のこと）の場合、各足部22R/Lの位置と腰部の高さで脚の姿勢が一意に定まるので、腰部運動パターンを生成することは、脚の姿勢すなわち下肢の「歩容」を決定することを意味する（前述）。

【0119】図14～図16には、ローラ・スケータリング・ユニット200を各可動脚に装着した脚式移動ロボット100が、スケータリング動作により直進あるいは左右方向に旋回する運動を行うときの各足底の動きを図解している。

【0120】図14に示すように、まず右脚の股関節ヨー軸アクチュエータを駆動させるなどして、右足底を、ロボット100の進行方向すなわちピッチ軸とは一致しない向きにする。図示の例では、右足底をx軸すなわちロール軸に略平行になるように移動させている。但し、右脚部ではなく左脚部の方を駆動させてもよい（以下、同様に左右の脚の可動を交換してもよいと解釈された）。

【0121】さらに、右足底を接地させて後方にける動作を行うことによって、左足部に対して移動の初速度 V_0 を印加する。このとき、旋回角度 θ を所望の値に設定することによって、直進、右旋回、及び左旋回のいずれかを選択することができる。

【0122】上記した一連の動作中には、ZMPを安定度判定規範とするZMP軌跡制御（図12又は図13を参照のこと）を行うことによって、スケータリング開始時のロボット100の姿勢を安定化させ転倒を防止する

ことができる。

【0123】直進、右旋回、若しくは左旋回いずれかの方向で滑走を開始し、加速され、移動速度 V_t が安定すると、図15に示すように、左右の足底を x 軸すなわちロール軸方向に揃える。この結果、ロボット100は、移動方向を維持しつつ移動速度を減衰しながら滑走する。滑走動作中も、ZMP軌跡制御(図12又は図13を参照のこと)を行うことによって、ロボット100の姿勢を安定化させ転倒を防止することができる。

【0124】移動速度 V_t が所定の移動速度まで減衰すると、図16に示すように、左脚の股関節ヨー軸アクチュエータを駆動させるなどして、左足底を、ロボット100の進行方向すなわちピッチ軸とは一致しない向きにする。図示の例では、左足底を x 軸すなわちロール軸に略平行になるように移動させている。

【0125】さらに、左足底を接地させて後方にける動作を行うことによって、左足部に対して移動の初速度 V_0 を印加する。このとき、旋回角度 θ を所望の値に設定することによって、直進、右旋回、及び左旋回のいずれかを選択することができる。

【0126】上記した一連の動作中には、ZMPを安定度判定規範とするZMP軌跡制御(図12又は図13を参照のこと)を行うことによって、スケーティング開始時のロボット100の姿勢を安定化させ転倒を防止することができる。

【0127】図14～図16に示すような、加速、速度の減衰、加速という動作パターンを順次繰り返すことによって、ロボット100は安定した滑走動作を継続することができる。また、加速の際に旋回角度 θ を設定することによって、直進、右旋回、及び左旋回を適宜実行して、滑走中に任意の軌跡を描くこともできる。

【0128】また、図17～図19には、ローラ・スケーティング・ユニット200を各可動脚に装着した脚式移動ロボット100が、スケーティング動作中に減速及び／又は停止する運動を行うときの各足底の動きを図解している。

【0129】スケーティングにより滑走中のロボット100を減速しあるいは停止させたいときには、右足底と左足底が平行して前進している状態(図15を参照のこと)から、図17に示すように、右足部若しくは左足部を遊脚させ、その遊脚した足部を滑走路面に接地させて、その際に発生する摩擦力を調整することによって、ロボット100の移動速度 V_t を制動することができる。

【0130】このような一連の制動動作中において、ZMP軌跡制御(図12又は図13を参照のこと)を行うことによって、ロボット100の姿勢を安定化させ転倒を防止することができる。

【0131】あるいは、右足底と左足底が平行して前進している状態(図15を参照のこと)から、図18に示

すように、右足底と左足底の双方を、前端が内側に且つ後端が外側に向くようにすることで、進行方向に摩擦力を印可して、移動速度 V_t を減衰せしめる。このとき、進行方向に対する各足底の傾き θ を調整することにより、制動を調整することができる。

【0132】このような一連の制動動作中において、ZMP軌跡制御(図12又は図13を参照のこと)を行うことによって、ロボット100の姿勢を安定化させ転倒を防止することができる。

【0133】あるいは、回転ローラ部にブレーキ機能を備えて、該ブレーキを制御することによって、ロボット100の移動速度 V_t を減衰させ停止させるようにしてもよい(図19を参照のこと)。この場合も、ZMP軌跡制御(図12又は図13を参照のこと)を行うことによって、制動時のロボット100の姿勢を安定化させ転倒を防止することができる。

【0134】[追補]以上、特定の実施例を参照しながら、本発明について詳解してきた。しかしながら、本発明の要旨を逸脱しない範囲で当業者が該実施例の修正や代用を成し得ることは自明である。

【0135】本明細書中では、ロボットの体幹ピッチ軸5と、体幹ロール軸6と、体幹ヨー軸7という3自由度をロボットの腰部の姿勢(θ_{hx} , θ_{hy} , θ_{hz})として扱ったが、腰部の位置は人間型ロボット100と現実のヒトやサルなどの2足直立歩行動物の身体メカニズムとの対比により柔軟に解釈されたい。

【0136】要するに、例示という形態で本発明を開示してきたのであり、限定的に解釈されるべきではない。本発明の要旨を判断するためには、冒頭に記載した特許請求の範囲の欄を参酌すべきである。

【0137】参考のため、人間型ロボットの関節モデル構成を図20に図解しておく。同図に示す例では、肩関節5から上腕、肘関節6、前腕、手首7及び手部8からなる部分を「上肢」と呼ぶ。また、肩関節5から股関節11までの範囲を「体幹部」と呼び、ヒトの胴体に相当する。また、体幹部のうち特に股関節11から体幹関節10までの範囲を「腰部」と呼ぶ。体幹関節10は、ヒトの背骨が持つ自由度を表現する作用を有する。また、股関節11より下の大腿部12、膝関節14、下腿部13、足首15及び足部16からなる部分を「下肢」と呼ぶ。一般には、股関節より上方を「上体」と呼び、それより下方を「下体」と呼ぶ。

【0138】また、図21には、人間型ロボットの他の関節モデル構成を図解している。同図に示す例は、体幹関節10を有しない点で図20に示した例とは相違する。各部の名称については図を参照されたい。背骨に相当する体幹関節が省略される結果として人間型ロボットの上体の動きは表現力を失う。但し、危険作業や難作業の代行など、産業目的の人間型ロボットの場合、上体の動きを要しない場合がある。なお、図20及び図21で

用いた参照番号は、それ以外の図面とは一致しない点を理解されたい。

【0139】

【発明の効果】以上詳記したように、本発明によれば、それぞれの可動脚が着床及び離床動作を協調的に繰り返し実行することにより柔軟な動作パターンを実現することができる、優れた脚式移動型ロボットのメカニズム及びその制御方法を提供することができる。

【0140】また、本発明によれば、ローラー・スケート靴を履くことにより、通常の歩行よりもダイナミックで高速な移動作業を実現することができる、優れた脚式移動型ロボットのメカニズム及びその制御方法を提供することができる。

【0141】本発明に係る脚式移動ロボットによれば、各々の可動脚の略最下端に滑走ユニットを装着することで、通常の関節自由度のみを以て容易に実現し得る動作パターンのみを用いて滑走動作を行い、この結果、ダイナミックで高速な移動動作を行うことができる。滑走ユニットは、例えば可動脚に対して着脱自在に取り付けられている。したがって、滑走ユニットを取り外すだけで、脚式移動ロボットは、歩行や走行などの通常の脚式移動動作パターンを実行することができる。

【0142】滑走ユニットは、滑走方向に沿った進行方向にはほとんど摩擦などの負荷がかからない。このため、各可動脚の滑走ユニットを進行方向に揃えることで、滑走中の移動速度を持続することができる。他方、滑走方向に一致しない（例えば滑走方向と直交する）進行方向では、摩擦力が印加される。このため、滑走開始時や移動速度が減速したときには、1つの可動脚において、滑走ユニットの滑走方向を脚式移動ロボットの進行方向に交叉するように設定するとともに、該可動脚を後方に蹴り出すことによって加速動作を実現することができる。また、滑走期間中においては、滑走ユニットの滑走方向を脚式移動ロボットの進行方向に交叉させて該可動脚を着床することによって、路面との間で摩擦力を発生させて、制動作用を導出することができる。

【0143】また、脚式移動ロボットが一連の滑走動作を行っている期間中、制御手段は、ZMP軌跡制御により姿勢安定制御を行うことで、滑走中のロボットの転倒を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施に供される人間型ロボット100を前方から眺望した様子を示した図である。

【図2】本発明の実施に供される人間型ロボット100を後方から眺望した様子を示した図である。

【図3】人間型ロボット100の足平にローラー・スケーティング・ユニットを装着する様子を示した図である。

【図4】人間型ロボット100の足平にローラー・スケーティング・ユニットを装着する様子を示した図であ

る。

【図5】ローラー・スケーティング・ユニット200に取り付けられた検出機構について図解している。

【図6】両足にローラー・スケーティング・ユニット200を取り付けた人間型ロボット100が路面を滑走する動作を前方から眺望した図である。

【図7】両足にローラー・スケーティング・ユニット200を取り付けた人間型ロボット100が路面を滑走する動作を後方から眺望した図である。

【図8】本実施例に係る人間型ロボット100が具備する自由度構成モデルを模式的に示した図である。

【図9】本実施例に係る人間型ロボット100の制御システム構成を模式的に示した図である。

【図10】本実施例に係る歩行制御の計算のために導入される、人間型ロボット100の線形且つ非干渉の多質点近似モデルを示した図である。

【図11】図10に示したロボット100の多質点近似モデルにおける腰部周辺の拡大図である。

【図12】本実施例に係る人間型ロボット100が安定したスケーティング動作を行うことができる腰部運動の制御処理手順の一例を示したフローチャートである。

【図13】本実施例に係る人間型ロボット100が安定したスケーティング動作を行うことができる腰部運動の制御処理手順の他の例を示したフローチャートである。

【図14】ローラー・スケーティング・ユニット200を各可動脚に装着した脚式移動ロボット100がスケーティング動作を行うときの各足底の動きを示した図であり、より具体的には、ロボット100を直進あるいは左右方向に旋回させるときの足底の動きを示した図である。

【図15】ローラー・スケーティング・ユニット200を各可動脚に装着した脚式移動ロボット100がスケーティング動作を行うときの各足底の動きを示した図であり、より具体的には、ロボット100を直進あるいは左右方向に旋回させるときの足底の動きを示した図である。

【図16】ローラー・スケーティング・ユニット200を各可動脚に装着した脚式移動ロボット100がスケーティング動作を行うときの各足底の動きを示した図であり、より具体的には、ロボット100を直進あるいは左右方向に旋回させるときの足底の動きを示した図である。

【図17】ローラー・スケーティング・ユニット200を各可動脚に装着した脚式移動ロボット100がスケーティング動作を行うときの各足底の動きを示した図であり、より具体的には、ロボット100を減速及び／又は停止させるときの足底の動きを示した図である。

【図18】ローラー・スケーティング・ユニット200を各可動脚に装着した脚式移動ロボット100がスケーティング動作を行うときの各足底の動きを示した図であ

り、より具体的には、ロボット100を減速及び／又は停止させるときの足底の動きを示した図である。

【図19】ローラ・スケーティング・ユニット200を各可動脚に装着した脚式移動ロボット100がスケーティング動作を行うときの各足底の動きを示した図であり、より具体的には、ロボット100を減速及び／又は停止させるときの足底の動きを示した図である。

【図20】人間型ロボットの関節モデル構成を模式的に示した図である。

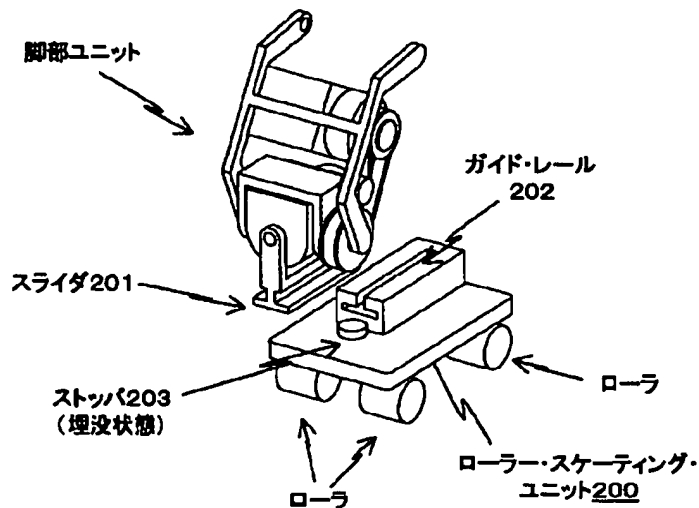
【図21】人間型ロボットの関節モデル構成を模式的に示した図である。

【符号の説明】

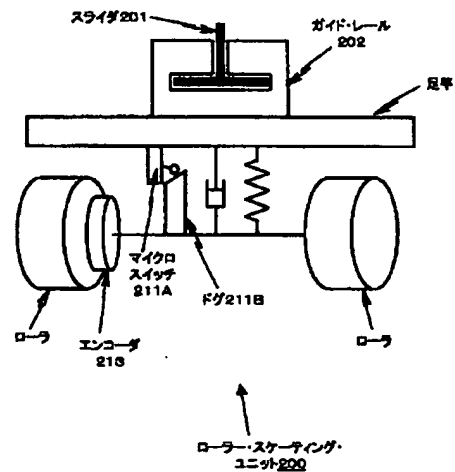
1…頭部、2…首関節ヨー軸
3…首関節ピッチ軸、4…首関節ロール軸
5…体幹ピッチ軸、6…体幹ロール軸
7…体幹ヨー軸、8…肩関節ピッチ軸
9…肩関節ロール軸、10…上腕ヨー軸
11…肘関節ピッチ軸、12…前腕ヨー軸
13…手首関節ピッチ軸、14…手首関節ロール軸
15…手部、16…股関節ヨー軸

17…股関節ピッチ軸、18…股関節ロール軸
19…膝関節ピッチ軸、20…足首関節ピッチ軸
21…足首関節ロール軸、22…足部（足底）
30…頭部ユニット、40…体幹部ユニット
50…腕部ユニット、51…上腕ユニット
52…肘関節ユニット、53…前腕ユニット
60…脚部ユニット、61…大腿部ユニット
62…膝関節ユニット、63…脛部ユニット
80…制御ユニット、81…主制御部
82…周辺回路
91、92…接地確認センサ
93…姿勢センサ
100…人間型ロボット
200…ローラ・スケーティング・ユニット
201…スライダ
202…ガイド・レール
203…ストッパ
211A…ドグ
211B…マイクロ・スイッチ
213…エンコーダ（回転検出計）

【図3】

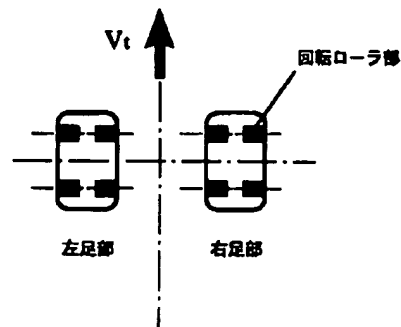
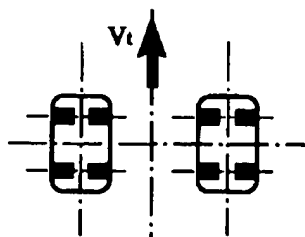


【図5】

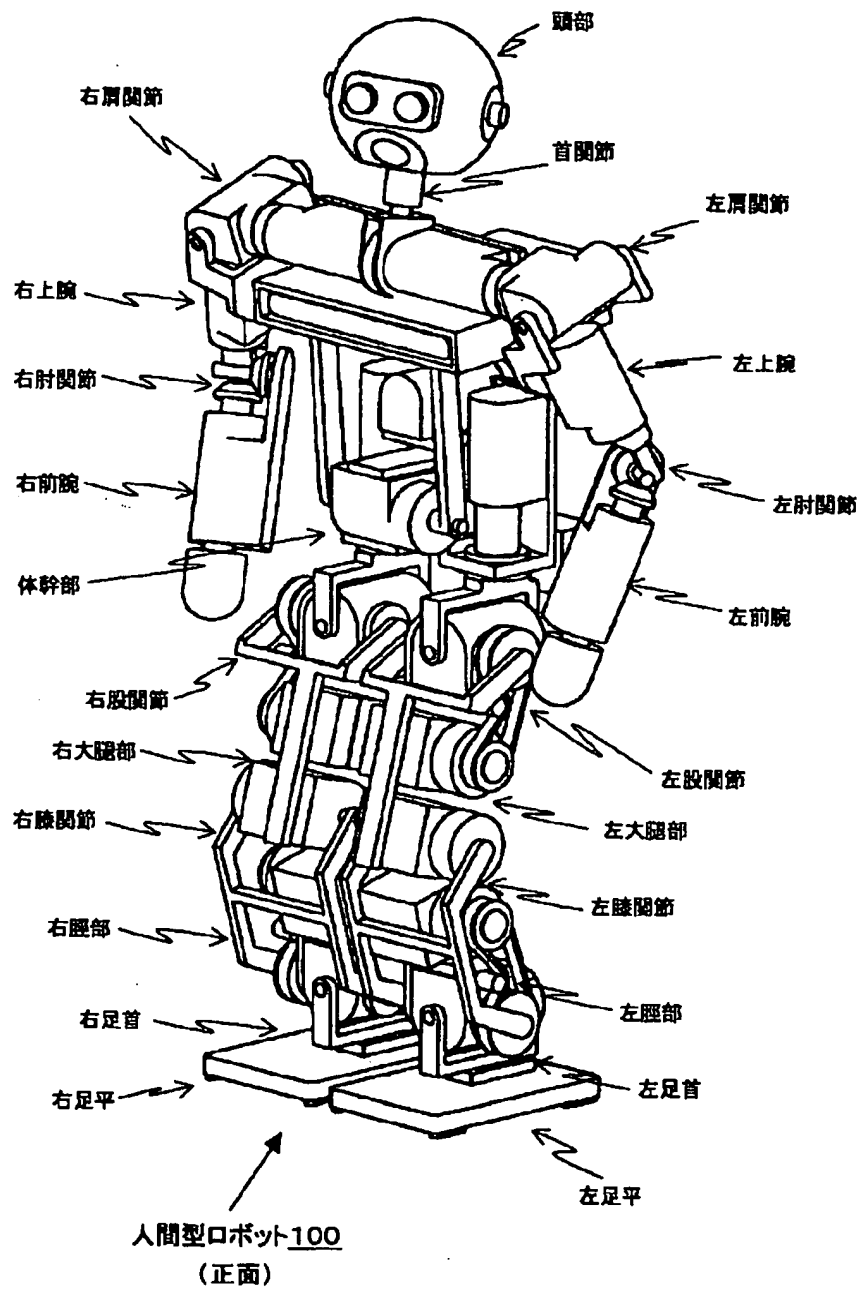


【図15】

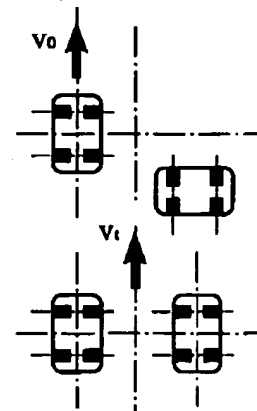
【図19】



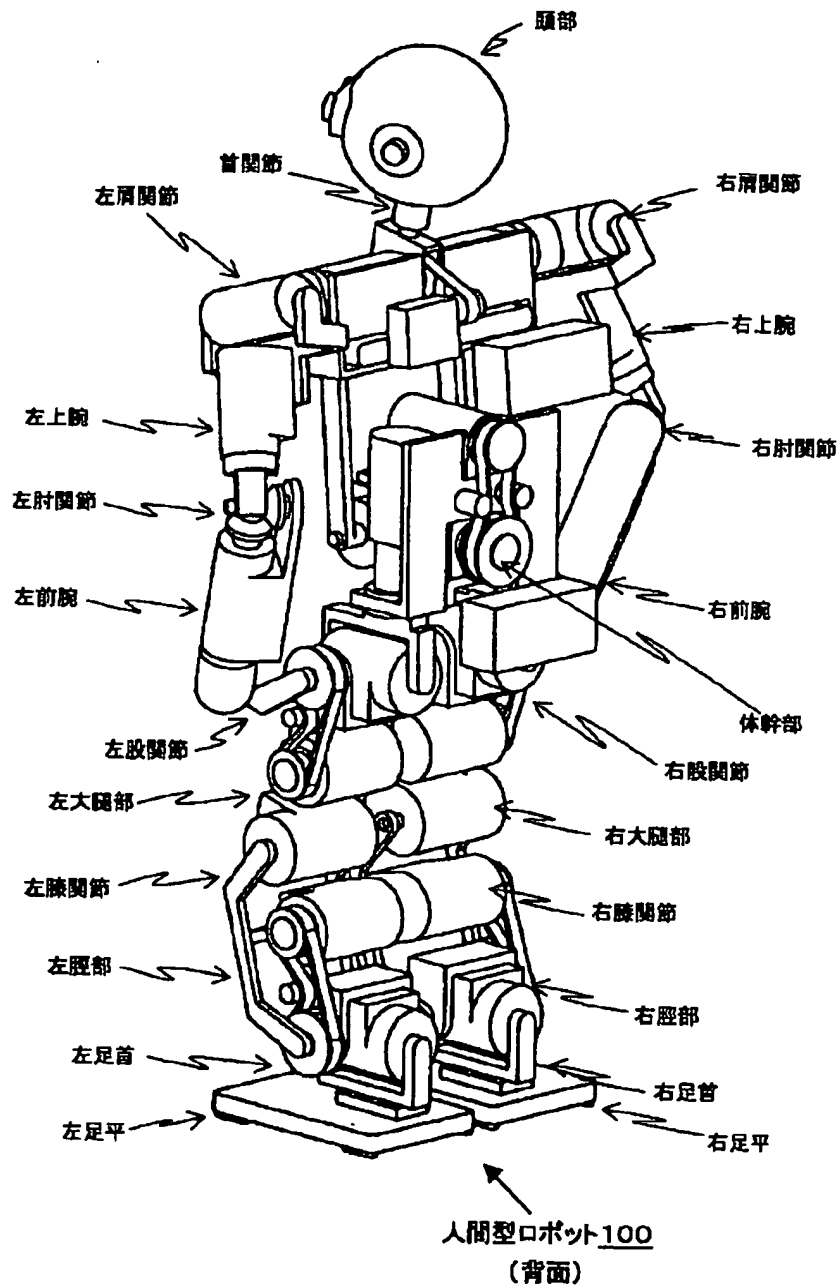
【図1】



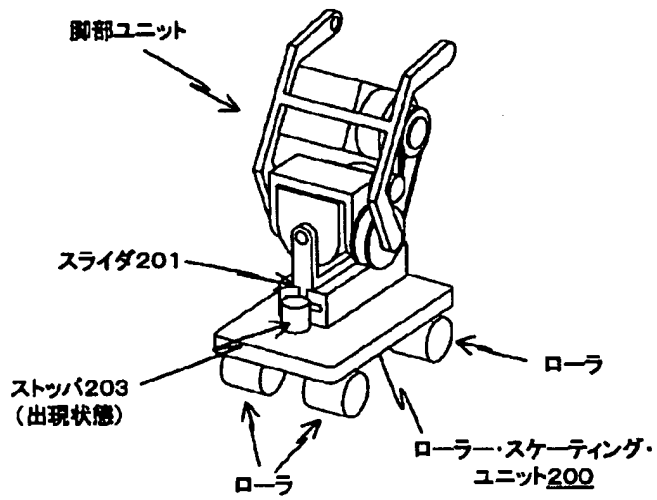
【図17】



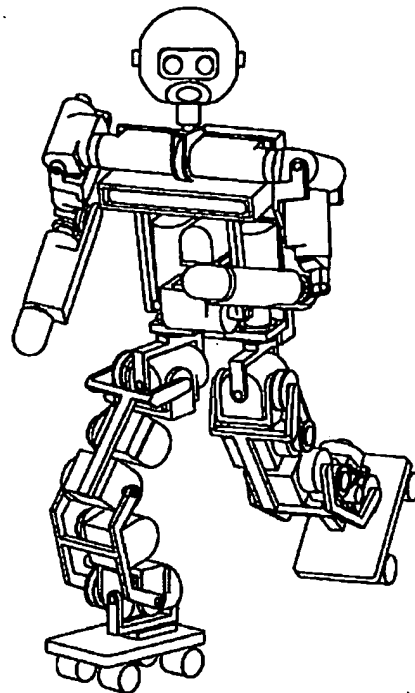
【図2】



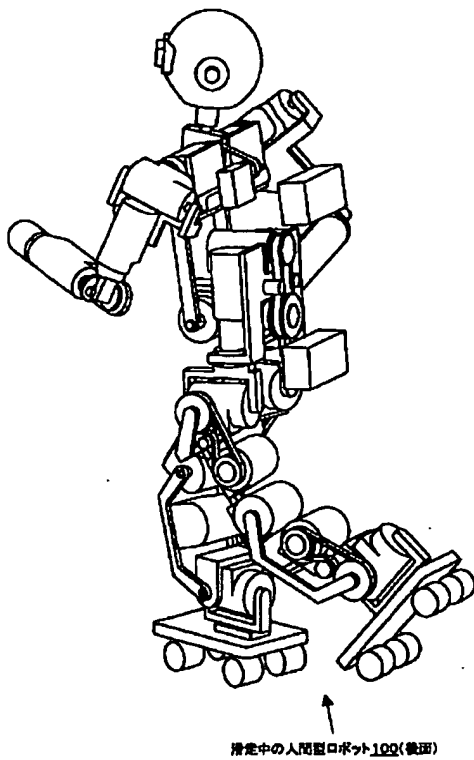
【図4】



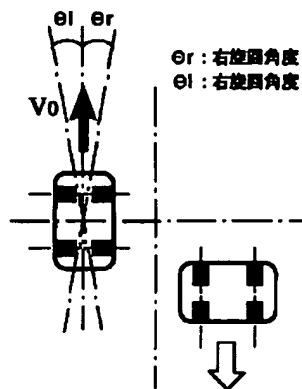
【図6】



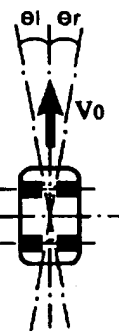
【図7】



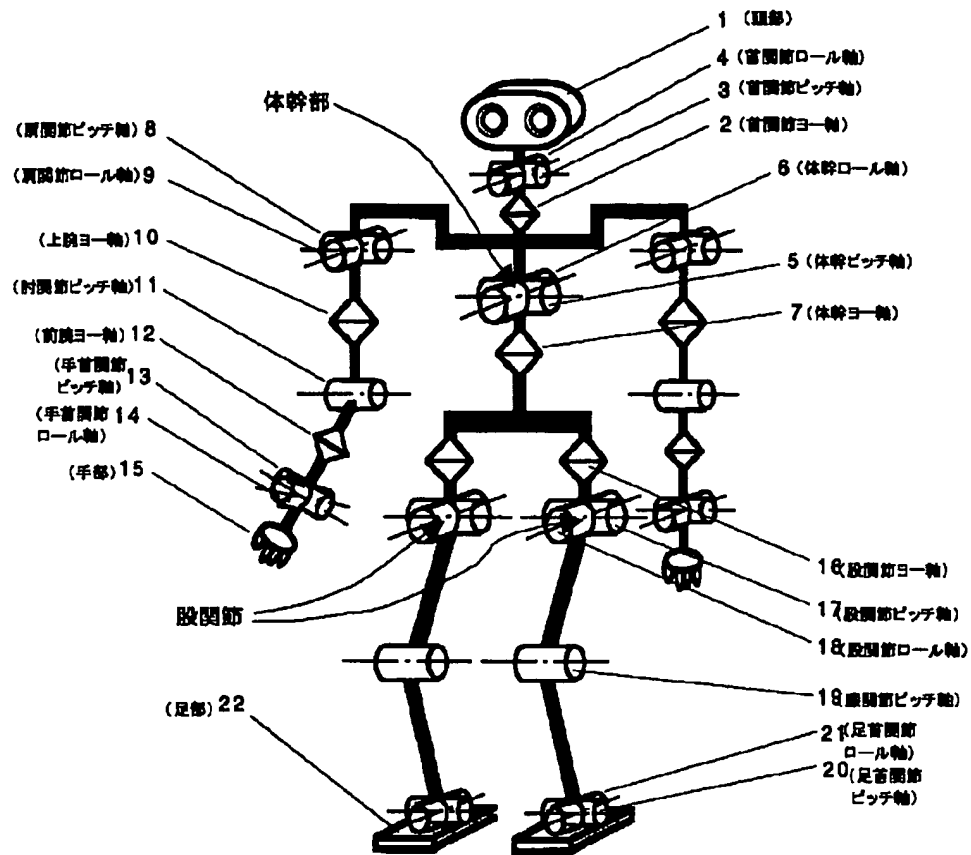
【図14】



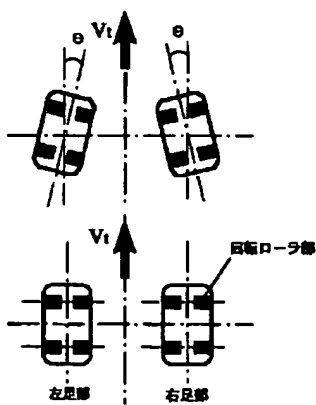
【図16】



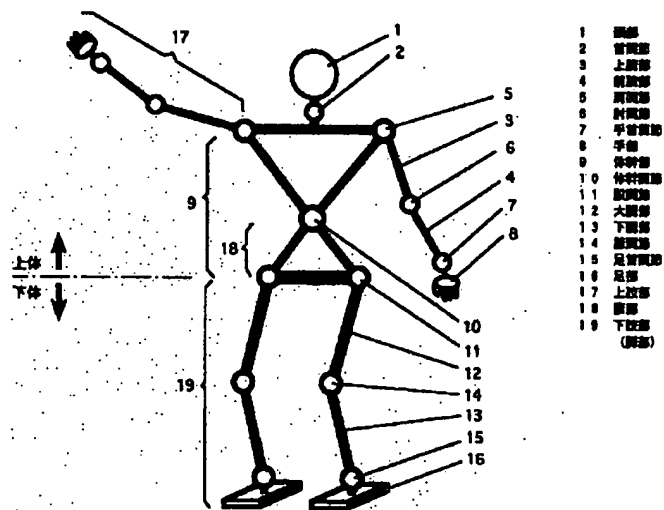
【図8】



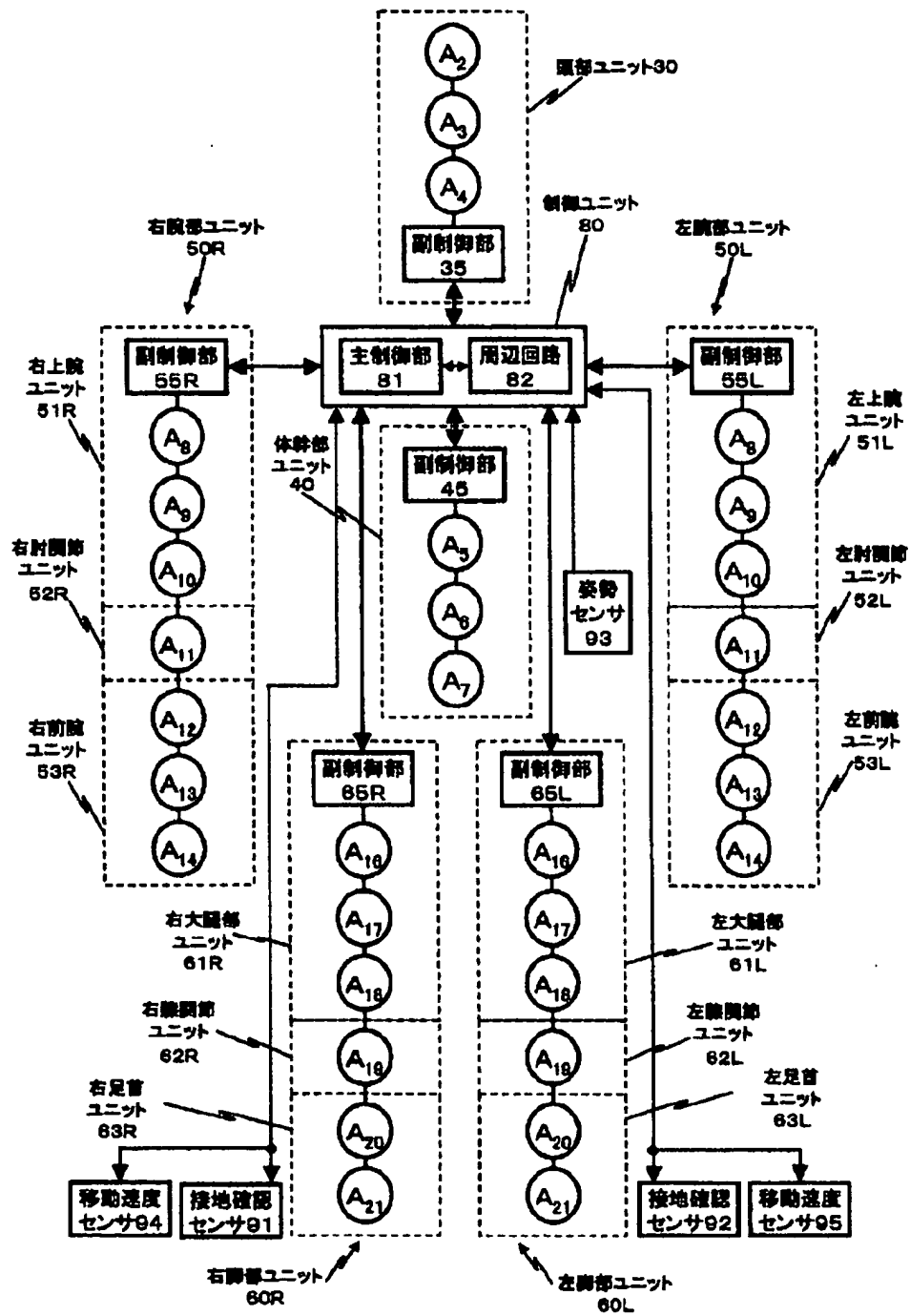
【図18】



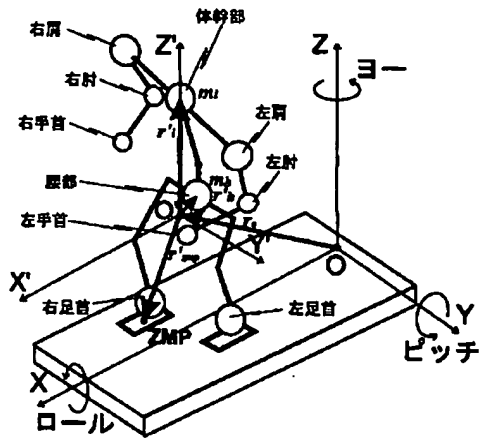
【図20】



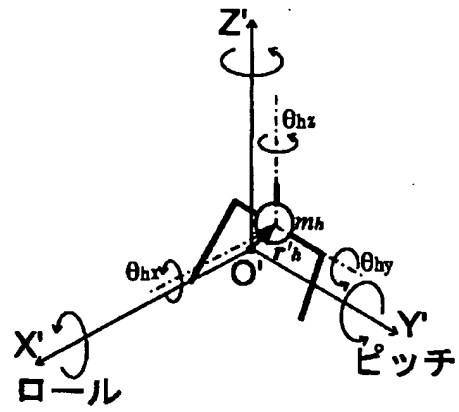
【図9】



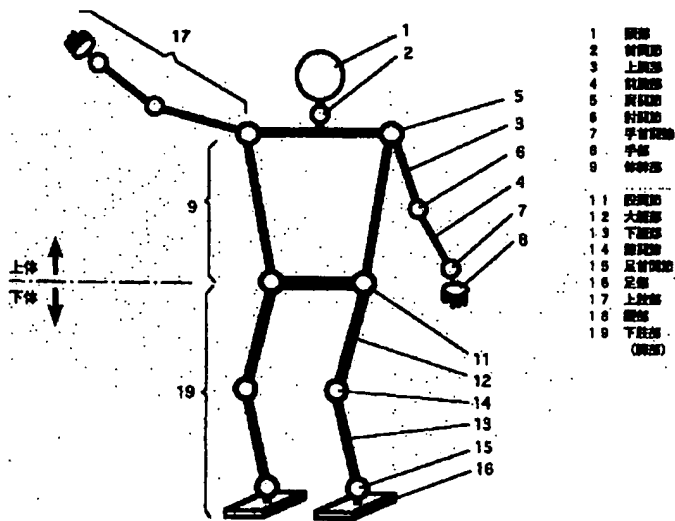
【図10】



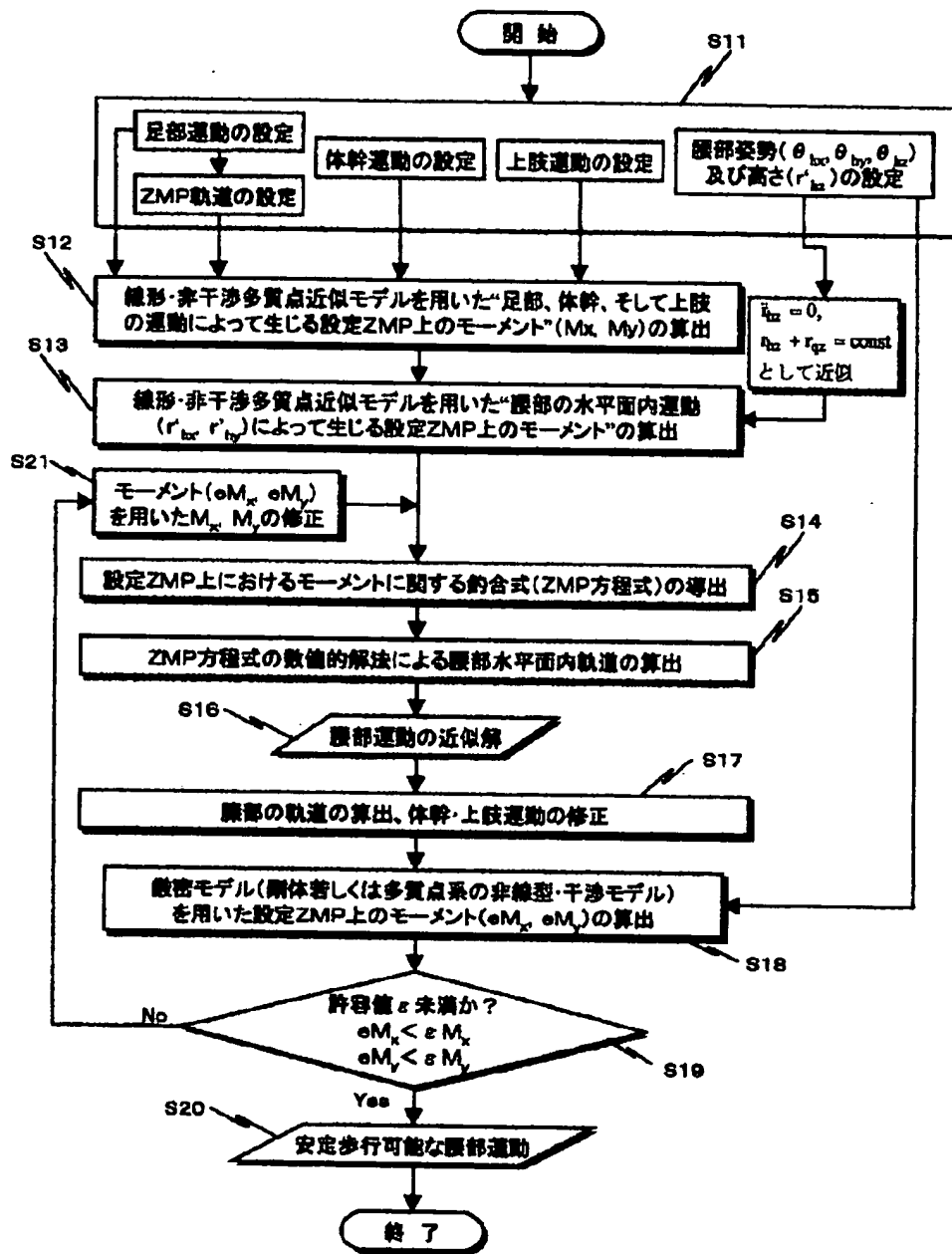
【図11】



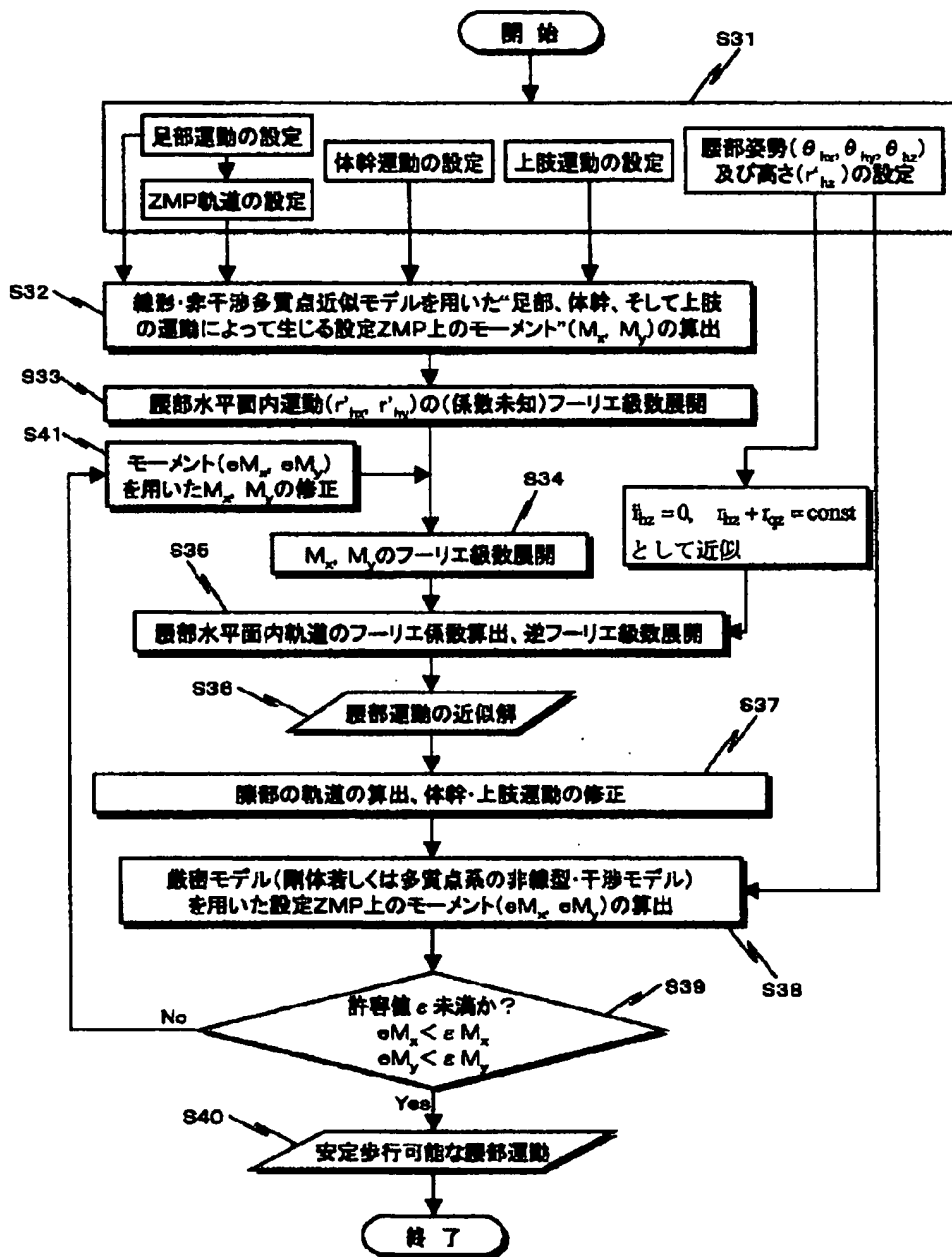
【図21】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(72)発明者 服部 裕一
 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
 ー株式会社内

(72)発明者 山口 仁一
 東京都日野市多摩平5-14-38